

**PERFORMANSI KARAKTERISTIK SENSOR PENGUKUR
KECEPATAN SUDUT BERBASIS MEMS MPU 6050 DAN ADXL 335**
***CHARACTERISTIC PERFORMANCE OF ANGULAR VELOCITY
SENSOR MEASUREMENT BASED ON MEMS MPU 6050 AND ADXL 335***

Dewi Anggaraeni¹, Ririn Ranto Wati.², Prasepvianto Estu Broto¹, Aryandi Marta¹

¹Pusat Teknologi Penerbangan - LAPAN

²Politeknik Caltex Riau

Email : dewi.anggraeni@lapan.go.id

Abstrak

Sensor pengukur kecepatan sudut diperlukan untuk navigasi dan pedoman pada benda yang bergerak. Sensor, menurut prinsip, operasi kerjanya dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu sensor mekanik, sensor optik dan MEMS atau *Micro Electromechanical System*. MEMS adalah teknologi yang didefinisikan sebagai elemen mekanik dan elektromekanik dalam bentuk mikro dibuat dengan dengan teknik fabrikasi mikro. Sehingga sensor berbasis MEMS sangat cocok untuk pengembangan sistem autopilot pesawat tanpa awak, dimana berat dan dimensinya memenuhi syarat dalam hal pengembangan sistem pada suatu modul yang tersusun rapat.

Performansi sebuah sistem pengukuran dapat ditunjukkan dengan nilai statistik, salah satunya dinyatakan dengan fungsi kerapatan peluang nilai *output* (*probability density function/ PDF*). Dalam penelitian ini, dirancang sistem pengukuran sudut menggunakan dua sensor berbasis MEMS, yaitu MPU 6050 dan ADXL 335 dan mengintegrasikannya ke perangkat keras Arduino untuk mendapatkan nilai keluaran sensor. Telah dilakukan integrasi sistem pengukuran kecepatan sudut dengan dua sensor MPU 6050 dan ADXL 335. Sistem pengukuran kecepatan sudut dengan menggunakan sensor MPU 6050 menunjukkan performansi yang lebih baik dari sensor ADXL 335 karena nilai PDF lebih tinggi di nilai kecepatan sudut 18,04 °/detik dan rentang *output*-nya yang lebih kecil.

Kata kunci: performansi, PDF, kecepatan sudut, MEMS.

Abstract

An angular velocity sensor is required for navigation and guidance on moving objects. Sensors according to the principle of operation can be divided into 3 (three), there are, mechanical sensors, optical sensors and MEMS or Micro Electromechanical System. MEMS is a technology that is defined as a mechanical and electromechanical element in a micro-form made with micro-manufacturing techniques. MEMS-based sensors are therefore best suited for the development of autopilot unmanned aircraft systems, where the weight and dimensions meet the requirements of system development in a compact module.

The performance of a measurement system can be shown by statistical value, one of which is expressed by the probability density function (PDF). In this study, the angular measurement system was designed using two MEMS-based sensors, the MPU 6050 and ADXL 335 and integrated it into the Arduino hardware to obtain sensor output values. Integration of two angular velocity measurement system with MPU 6050 and ADXL 335 sensors has been done. The angular velocity measurement system using MPU 6050 sensor shows better performance than ADXL 335 sensor because PDF value is higher at angular velocity value of 18.04 ° / sec and it has smaller output range.

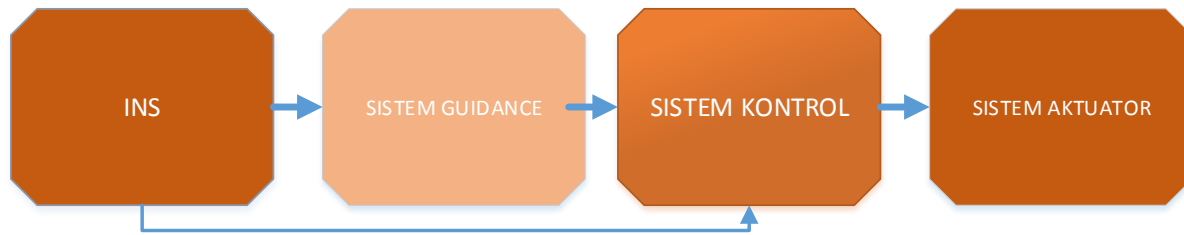
Keywords: Performance,PDF, angular velocity, MEMS.

1. PENDAHULUAN

Autopilot digunakan secara konstan mengendalikan terbang sebuah pesawat udara menuju lintasan yang telah ditentukan. Jumlah penerbangan yang banyak dan panjang membutuhkan konsentrasi yang besar bagi pilot dalam memberikan penerbangan yang aman. Autopilot digunakan untuk membantu pilot dalam mengendalikan pesawat, sehingga dibutuhkan untuk melakukan penerbangan yang memberikan

keselamatan bagi penumpang dan kru pesawat. Kerja autopilot dibawah kendali sebuah sistem yang terdiri dari sistem *navigation, guidance*, dan kontrol atau yang disebut dengan sistem NGC [1].

Sistem NGC berfungsi untuk mengarahkan pesawat dengan gaya dorong dan menstabilkan pesawat sepanjang lintasan untuk mencapai tujuan yang sesuai dengan spesifikasi yang akurat [1]. Sistem NGC dapat dibedakan alur kerja sistemnya seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alur kerja sistem NGC

Inertial navigation System (INS) adalah sistem untuk mengetahui gerak sebuah benda sesuai dengan kerangka acuan tertentu. Gerakan akan di ukur melalui sensor – sensor yang tergabung dalam sistem IMU (*Inertial Measurement Unit*).

Sistem NGC harus menentukan lintasan optimal secara *real time* untuk mencapai target yang ditentukan. Mengarahkan kendaraan di sepanjang jalur yang diinginkan. Lintasan optimal akan menjadi *guidance/panduan* pesawat ke posisi yang ditargetkan misi dalam penerbangan yang ditentukan. Sistem navigasi mengukur keadaan sesaat pesawat, dan menyimpan informasi ini [1]. Sistem *guidance* memproses titik – titik dimana pesawat mengikuti lintasan yang telah ditentukan [2]. Sistem kontrol pesawat terdiri dari autopilot dan kendali sistem elektrikal didalam pesawat. Menerima perintah kemudi dari sistem *guidance* dan mengarahkan kendaraan untuk mengikuti perilaku yang diinginkan. Sistem *guidance* memetakan jalur yang tersisa terus menerus, menghitung ulang sikap kendaraan yang diinginkan untuk mencapai target misi [1].

IMU (*Inertial Measurement Unit*) adalah bagian sistem autopilot pada pesawat tanpa awak, digunakan untuk mengetahui gerakan benda atau *attitude*, dan percepatan gerak benda serta kecepatan sudut benda. IMU terdiri dari sensor *gyroscope, accelerometer* dan kadang dilengkapi dengan magnetometer dan sensor temperatur. Sensor pengukur kecepatan sudut diperlukan untuk navigasi dan pedoman pada benda yang bergerak [3,4,5,6,11]. Sensor pengukur kecepatan sudut menjadi salah satu komponen penting dalam pengembangan sistem autopilot mandiri [4]. Kegiatan ini menjadi awal dalam proses pembentukan sistem autopilot pesawat tanpa awak (UAV).

Pemilihan sensor dan sistem komputer sangat penting untuk memenuhi desain sistem autopilot yang akan dibangun. Kriteria komponen perangkat keras dipengaruhi oleh dimensi, harga, berat, dan performansi. Dimensi diperlukan untuk menyesuaikan dimensi ruang pesawat. Harga dibutuhkan untuk penyesuaian jangka pendek dan jangka panjang disain sistem yang akan dibuat. Selain itu, penyesuaian anggaran yang dimiliki menjadi perhatian pokok dalam kegiatan pengembangan sebuah sistem perangkat keras. Sedangkan berat sangat mempengaruhi keseimbangan pesawat [7].

Sensor, menurut prinsip, operasi kerjanya dapat dibedakan menjadi 3, sensor mekanik, sensor optik dan MEMS atau *Micro Electromechanical System* [8]. MEMS adalah teknologi yang didefinisikan sebagai elemen mekanik dan elektromekanik dalam bentuk mikro dibuat dengan dengan teknik pabrikan mikro. Sehingga sensor berbasis MEMS sangat cocok untuk pengembangan sistem autopilot pesawat tanpa awak, dimana berat dan dimensinya memenuhi syarat dalam hal pengembangan sistem pada suatu modul yang tersusun rapat [10]. Selain itu, sensor MEMS hanya membutuhkan konsumsi daya yang rendah, memiliki respon cepat dan presisi data yang tinggi [9].

Performansi memberikan kualitas sistem autopilot yang akurat dan handal [6]. Performansi sebuah sistem pengukuran dapat ditunjukkan dengan nilai statistik, salah satunya dinyatakan dengan fungsi kerapatan peluang nilai *output (probability density function/ PDF)* [7]. Dalam penelitian ini, dirancang sistem pengukuran sudut menggunakan dua sensor berbasis MEMS, yaitu MPU 6050 dan ADXL 335 dan mengintegrasikannya ke perangkat keras Arduino untuk mendapatkan nilai keluaran sensor. Selanjutnya, dilakukan tes terhadap perubahan posisi sudut tertentu untuk mendapatkan performansi sistem pengukuran sudut dari kedua sensor MEMS tersebut.

2. METODOLOGI

2.1. Performansi Karakteristik Sistem Pengukuran Kecepatan Sudut

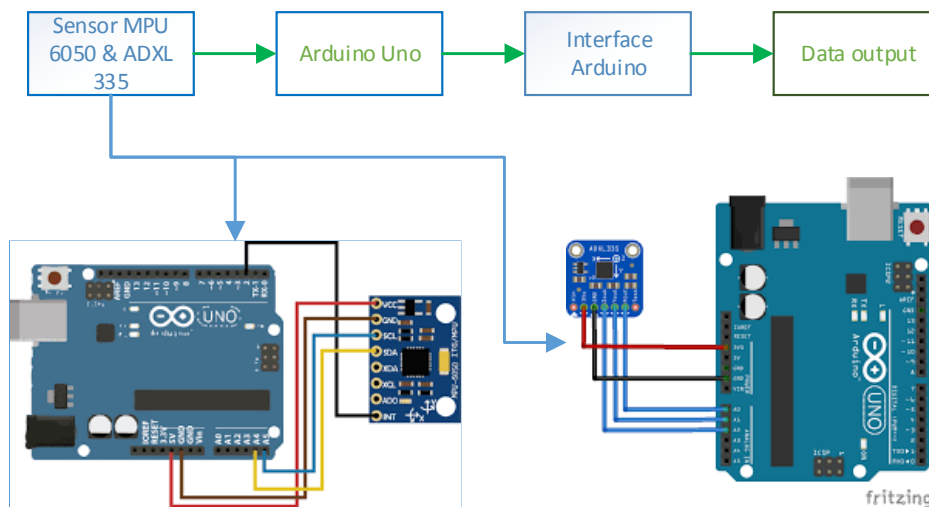
Terdapat banyak parameter performansi pada kinerja sensor pengukuran sudut, yaitu *noise* kecil, *offset bias error*, sensitivitas, dan histerisis [3]. Performansi sistem pengukuran dapat juga dilihat dari nilai *output* yang sering muncul serta memiliki nilai peluang *output* yang sama dengan *set point*. Hal tersebut dinamakan kemampuan divais dalam *repeatability*. Fungsi *repeatability* $p(\Omega)$ dapat dinyatakan dalam persamaan (1), dimana Ω menunjukkan kecepatan sudut dalam °/detik, $\bar{\Omega}$ adalah nilai rata – rata kecepatan sudut dan σ adalah nilai variansi. Nilai variansi ditentukan dengan menggunakan metode Allan Variance yang ditunjukkan oleh persamaan 2. Metode Allan Variance banyak digunakan dalam analisis sistem pengukuran sudut [3], dimana n adalah jumlah data kecepatan sudut dan t adalah jumlah waktu pengukuran dilakukan.

$$p(\Omega) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\Omega-\bar{\Omega})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

$$\sigma^2(t) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_i [\Omega(t)_{i+1} - \Omega(t)_i]^2 \quad (2)$$

2.2. Sistem Pengukuran Sudut

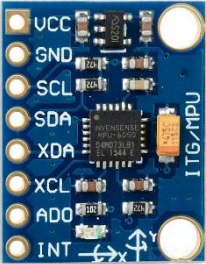

Sistem pengukuran kecepatan sudut terdiri dari sensor sebagai elemen pengukur kecepatan sudut dan Arduino sebagai data akuisisi. Data keluaran dari sensor diterima oleh Arduino dan diolah sesuai dengan *coding* yang diinputkan pada *software* Arduino. Nilai fisik sudut akan muncul pada layar *interface software* Arduino. Spesifikasi kedua sensor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. MPU 6050 memiliki MEMS *gyroscope* dan MEMS *accelerometer*. Sedangkan ADXL 335 hanya memiliki MEMS *accelerometer*. Diagram alir proses kerja sistem pengukuran kecepatan sudut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir *hardware* sistem pengukuran sudut

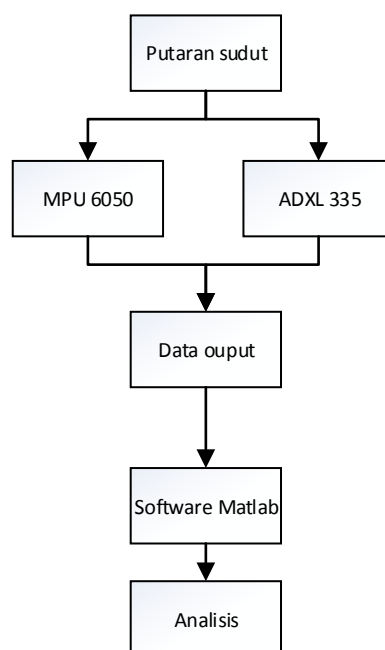
Perlakuan putaran sudut dilakukan pada satu arah gerak sumbu saja. Hasil pembacaan sensor akan disimpan dalam bentuk *file excel* untuk mempermudah dalam menghitung nilai rata – rata dan nilai variansi-nya, sehingga akan didapatkan nilai grafik *output* yang menunjukkan performansi divais tersebut. Perhitungan probabilitas akan dilakukan dengan bantuan *software* Matlab yang mengacu pada Persamaan 1.

Tabel 1. Spesifikasi sensor pengukur sudut

MPU 6050	ADXL 335
 <p style="text-align: center;">Gambar 3. Sensor MPU 6050</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 4. Sensor adxl335</p>
<p>Spesifikasi sensor MPU 6050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tegangan 2,375 – 3,46 V • Terdiri dari 3 sumbu MEMS gyroscope dan MEMS accelerometer <ul style="list-style-type: none"> ○ MEMS gyroscope <ul style="list-style-type: none"> ▪ Output digital dengan bentang skala $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \text{ dan } \pm 2000$ °/detik ▪ 16 bit ADC ▪ Arus operasi 3,6 mA ▪ Arus siaga 5 μA ○ MEMS accelerometer <ul style="list-style-type: none"> ▪ Output digital dengan bentang skala $\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g \text{ dan } \pm 16g$. ▪ 16 bit ADC ▪ Arus operasi 500μA 	<p>Spesifikasi sensor ADXL 335</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ MEMS accelerometer 3 sumbu ▪ Arus 350 μA ▪ Suplai tegangan operasi: 1,8 sampai 3,6 V ▪ Bentang skala minimum $\pm 3g$

2.3. Pengukuran Kecepatan Sudut

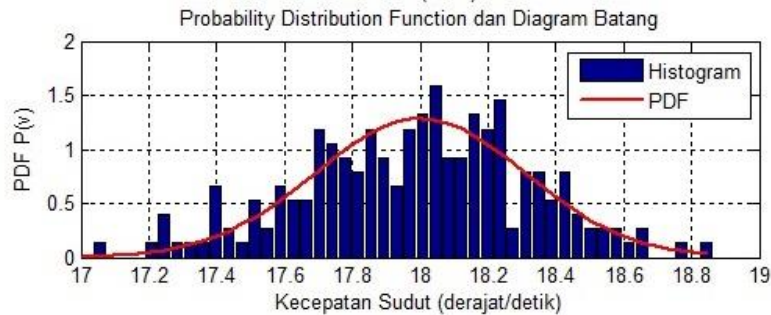
Sensor diputar pada satu sumbu, yaitu sumbu X sebesar 90° dengan kecepatan $18^\circ/\text{detik}$ dan $9^\circ/\text{detik}$. Kecepatan sudut tersebut diambil untuk mendapatkan data *output* yang lebih banyak, sehingga mempermudah dalam menganalisis performansi dari kedua sensor. Nilai rata – rata dan nilai varian akan dimasukkan ke *software* Matlab untuk mendapatkan nilai probabilitas dari tiap nilai *output*-nya. Untuk mendapatkan nilai varian maka dilakukan pengolahan data sesuai dengan persamaan (2). Proses analisis data performansi sensor dapat dilihat pada diagram alir proses analisis pengolahan data pada Gambar 3.



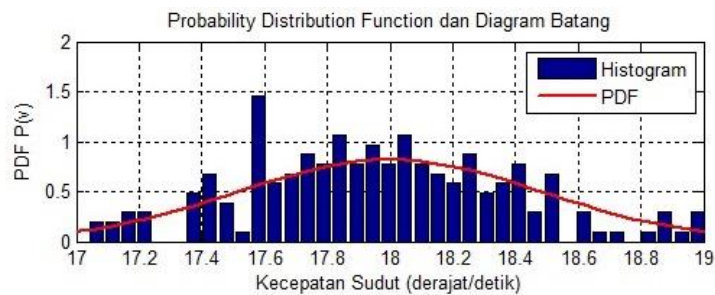
Gambar 5. Diagram alir proses analisis data performansi sensor

3. HASIL PENGUJIAN

Nilai modus kecepatan sudut pada sensor MPU 6050 adalah $18,04^\circ/\text{detik}$, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Nilai *output* yang ditunjukkan tidak merata dengan sebaran pembacaan perubahan kecepatan sudut mulai dari $17,02^\circ/\text{detik}$ sampai dengan $18,8^\circ/\text{detik}$. Nilai PDF MPU 6050 memiliki nilai *output* tertinggi pada 1,6. Gambar 7 menunjukkan grafik nilai *output* sensor ADXL 335. Modus nilai *output* yang diperoleh sebesar $17,6^\circ/\text{detik}$. Nilai *output* sensor ADXL 335 menyebar dari $17,02^\circ/\text{detik}$ sampai dengan $19^\circ/\text{detik}$. Nilai PDF untuk data *output* terbanyak pada 1,4. Data *output* pada sensor ADXL 335 menunjukkan nilai rentang yang semakin lebar jika dibandingkan dengan data *output* sensor MPU 6050. Nilai *output* MPU 6050 memberikan nilai kepuasan konsumen yang lebih baik dari pada nilai *output* sensor ADXL 335.



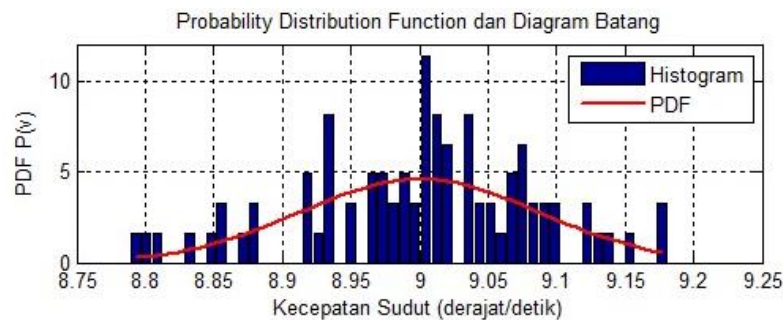
Gambar 6. Kecepatan sudut $18^\circ/\text{detik}$ dengan sensor MPU 6050



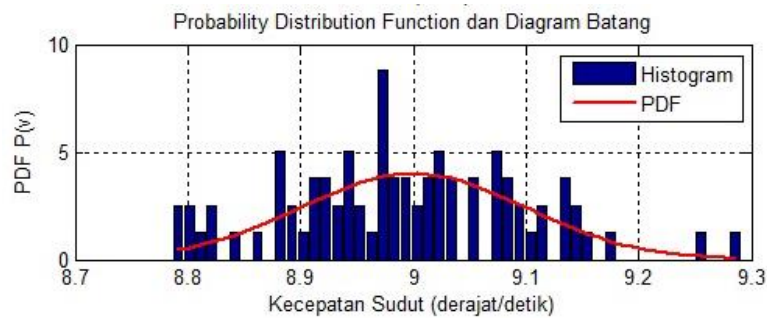
Gambar 7. Kecepatan sudut $18^\circ/\text{detik}$ dengan sensor ADXL 335

Gambar 8 memperlihatkan data *output* sensor MPU 6050 pada pengukuran kecepatan sudut di $9^\circ/\text{detik}$, dan diperoleh nilai PDF di angka 11. Rentang nilai *output* dimulai dari $8,8^\circ/\text{detik}$ sampai dengan $9,175^\circ/\text{detik}$. Sedangkan untuk sensor ADXL 335 (lihat Gambar 9), data modus *output* berada pada nilai $8,98^\circ/\text{detik}$, dengan nilai PDF di angka 9. Rentang data *output* sensor ADXL 335 menyebar dari angka $8,8^\circ/\text{detik}$ sampai dengan $9,3^\circ/\text{detik}$.

Pada kecepatan sudut $9^\circ/\text{detik}$, nilai PDF lebih tinggi dari kecepatan sudut $18^\circ/\text{detik}$ untuk di kedua sensor. Penyebaran nilai *output* di $9^\circ/\text{detik}$ tidak menyebar merata seperti pada kecepatan sudut $18^\circ/\text{detik}$.



Gambar 8. Kecepatan sudut $9^\circ/\text{detik}$ dengan sensor MPU 6050



Gambar 9. Kecepatan sudut 9°/detik dengan sensor ADXL 335

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan integrasi sistem pengukuran kecepatan sudut dengan dua sensor MPU 6050 dan ADXL 335. Pengujian secara eksperimental telah dilakukan pada kedua sensor disudut tertentu. Hasil *output* diolah dan menjadi *input* pada simulasi. Simulasi mengacu pada persamaan (1) dan persamaan (2) menggunakan *software* Matlab. Hasil yang didapatkan adalah sistem pengukuran kecepatan sudut dengan menggunakan sensor MPU 6050 menunjukkan performansi yang lebih baik dari sensor ADXL 335 karena nilai PDF lebih tinggi dinilai kecepatan sudut 18,04 °/detik dan rentang *output*-nya yang lebih kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak Gunawan S. P dan bapak Agus Aribowo atas fasilitas dan dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. N Suresh dan K Siran, "Guidance and Control System", Springer
- [2] Anthony Lawrence, "Modern Inertial Technology", Navigation, Guidance and Control, second edition, Springer-Verlag New York, Inc. 1993.
- [3] D. Anggaraeni, "Analisis Performansi Open-Loop Fiber Optic (FOG) Sumbu Tunggal Berdasarkan Angle Random Walk (ARW)," Tesis Master Teknik Elektronika, Depok, Universitas Indonesia, 2017.
- [4] SGökçen Aslan Aydemir and Afsar Saranlı, "Characterization and calibration of MEMS inertial sensors for state and parameter estimation applications", Science Direct, Measurement 45 (2012) 1210-1225
- [5] Kapseong Ro and Taeseung Kuk, "Development, Test and Evaluation of an Integrated GNC System for Small Unmanned Aerial Vehicles", AIAA 2009-2063, Washington.
- [6] C. F. Lin, "Modern Navigation, Guidance And Control Processing". Prentice Hall, 1991.
- [7] Dewi Anggaraeni, Eko Tjipto Raharjo, and P. Sidi Priambodo, "FOG Model Based On Angle Random Walk Effect," in *The 15th International Conference QiR*, 2017. ISBN : 978-1-5090-6397-0
- [8] H. Sheng and T. Zhang, "MEMS-based low-cost strap-down AHRS research," *Measurement*,

vol. 59, pp. 63–72, 2015.

- [9] J. P. Bentley, "*Principles of Measurement*", IV. Prentice Hall, 2005.
- [10] Kyle J. DeMars, et al., "Performance Evaluation Criteria and Analysis of Navigation System Using Inertial Measurement Unit Technology", AIR FORCE RESEARCH LABORATORY, Space Vehicles Directorate, 3550 Aberdeen Ave SE, 2014
- [11] Dewi Anggraeni, "Aplikasi Fiber Optik pada Pesawat Udara", Media Dirgantara, LAPAN, Vol. 12 No. 2 Desember 2017